

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-009928

(43)Date of publication of application : 14.01.2000

(51)Int.Cl.

G02B 5/28

(21)Application number : 10-174652

(71)Applicant : ALPS ELECTRIC CO LTD

(22)Date of filing : 22.06.1998

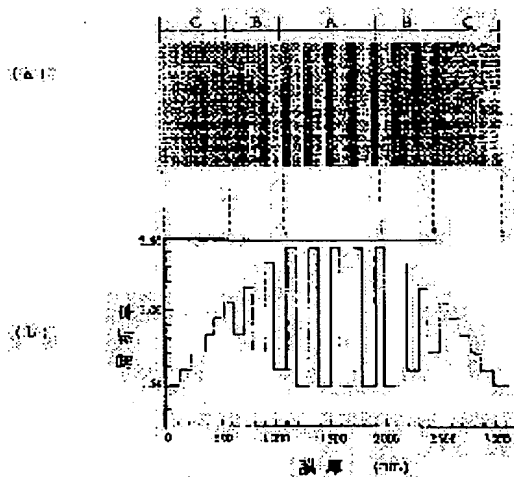
(72)Inventor : HIRAI TOSHIO
MASUMOTO HIROSHI
O CHIKAE
SOMENO YOSHIHIRO

(54) OPTICAL MULTILAYERED FILTER

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide optical multilayered filters having good optical characteristics without interference and the optical multilayered filters having high productivity.

SOLUTION: The optical multilayered filters formed by laminating dielectric thin films to multiple layers in a single direction are composed to have refractive index inclining lamination parts C where the refractive index of the dielectric thin film layers change successively incline and change in the lamination direction and alternate lamination parts A where the dielectric thin film layers of a high refractive index and the dielectric thin film layers of a low refractive index are alternately laminated. The color filters are composed by forming a plurality of the inclining lamination parts C and the alternate lamination parts A so as to hold these parts in the lamination direction.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 23.05.2000

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3290629

[Date of registration] 22.03.2002

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

BEST AVAILABLE COPY

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2000-9928
(P 2 0 0 0 - 9 9 2 8 A)
(43) 公開日 平成12年 1 月 14 日 (2000.1.14)

(51) Int. Cl. ⁷
G02B 5/28

識別記号

F I
G02B 5/28

ターマコード (参考)
2H048

審査請求 未請求 請求項の数 9 O L (全 7 頁)

(21) 出願番号 特願平10-174652

(22) 出願日 平成10年 6 月 22 日 (1998.6.22)

(71) 出願人 000010098
アルプス電気株式会社
東京都大田区雪谷大塚町 1 番 7 号
(72) 発明者 平井 敏雄
宮城県仙台市泉区高森 3 - 4 - 91
(72) 発明者 増本 博
宮城県仙台市青葉区上杉 3 - 8 - 22
(72) 発明者 王 新栄
宮城県多賀城市丸山一丁目 2 - 5 - 11
(72) 発明者 染野 義博
東京都大田区雪谷大塚町 1 番 7 号 アルプ
ス電気株式会社内
F ターム (参考) 2H048 GA04 GA12 GA34 GA44 GA56
GA62

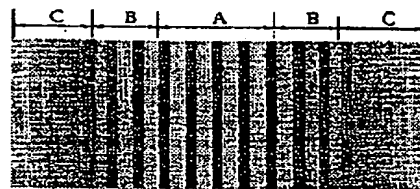
(54) 【発明の名称】 光学多層膜フィルタ

(57) 【要約】

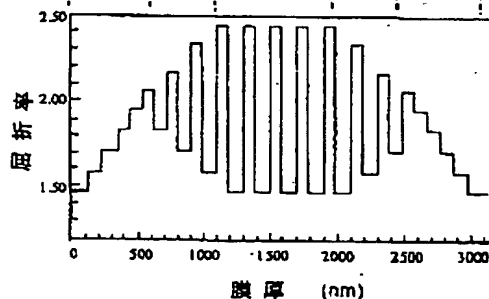
【課題】 干渉が少なく光学特性の良い光学多層膜フィルタを提供する。また、生産性の高い光学多層膜フィルタを提供する。

【解決手段】 単一方向に誘電体薄膜を多層に積層した光学多層膜フィルタであって、誘電体薄膜層の屈折率が積層方向に対して順次傾斜変化する屈折率傾斜積層部 C と、高屈折率の誘電体薄膜層と低屈折率の誘電体薄膜層とを交互に積層した交互積層部 A とを備えた構成とする。

(a)



(b)



【特許請求の範囲】

【請求項1】 単一方向に誘電体薄膜を多層に積層した光学多層膜フィルタであって、誘電体薄膜層の屈折率が積層方向に対して順次傾斜変化する屈折率傾斜積層部と、高屈折率の誘電体薄膜層と低屈折率の誘電体薄膜層とを交互に積層した交互積層部とを備えたことを特徴とする光学多層膜フィルタ。

【請求項2】 前記傾斜積層部を前記交互積層部の積層方向に挟み込むように複数形成したことを特徴とする請求項1に記載の光学多層膜フィルタ。

【請求項3】 単一方向に誘電体薄膜を多層に積層した光学多層膜フィルタであって、誘電体薄膜層の屈折率が積層方向に対して順次傾斜変化する屈折率傾斜積層部と、高屈折率の誘電体薄膜層と低屈折率の誘電体薄膜層とを交互に積層した交互積層部と、これらの積層部間に設けた屈折率差調整部とを備えたことを特徴とする光学多層膜フィルタ。

【請求項4】 前記屈折率差調整部は、異なる複数の単一屈折率膜からなることを特徴とする請求項3に記載の光学多層膜フィルタ。

【請求項5】 前記屈折率傾斜積層部と交互積層部との間に、 SiO_2 と TiO_2 の組成比を異ならせることにより所望の屈折率に形成した単一屈折率膜を用いてなる屈折率差調整部を設けたことを特徴とする請求項3に記載の光学多層膜フィルタ。

【請求項6】 単一方向に誘電体薄膜を多層に積層した光学多層膜フィルタであって、屈折率が階段状に順次増加するように多層に誘電体薄膜を積層した第1の屈折率傾斜積層部と、高屈折率の誘電体薄膜層と低屈折率の誘電体薄膜層とを交互に積層した交互積層部と、屈折率が階段状に順次減少するように多層に誘電体薄膜を積層した第2の屈折率傾斜積層部とを前記の順に形成したことを特徴とする光学多層膜フィルタ。

【請求項7】 前記屈折率傾斜積層部と交互積層部との間に屈折率差調整部を形成したことを特徴とする請求項6に記載の光学多層膜フィルタ。

【請求項8】 前記屈折率傾斜積層部と交互積層部との間に、 SiO_2 と TiO_2 の組成比を異ならせることにより所望の屈折率に形成した単一屈折率膜を用いてなる屈折率差調整部を設けたことを特徴とする請求項6に記載の光学多層膜フィルタ。

【請求項9】 前記屈折率傾斜積層部は SiO_2 と TiO_2 の組成比を異ならせることにより所望の屈折率に形成した単一屈折率膜を用いて形成したことを特徴とする請求項1、3、6の何れかひとつに記載の光学多層膜フィルタ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、例えば波長分割多

重光通信などにおいて、所望の波長の光を分波する光分波フィルタに係り、特に屈折率の異なる誘電体薄膜を多層に積層した光学多層膜フィルタに関する。

【0002】

【従来の技術】波長分割多重通信(WDX: wavelength division multiplexing)は光通信容量の飛躍的な増大に対応する新たな技術として、近年、その開発が進んでいるが、波長多重数の更なる増大が望まれている。このような光通信においては、所望の波長の光を選択的に用いるために、異なる2から3種の誘電体薄膜を交互に積層した誘電体多層膜からなる光分波フィルタが用いられている。このような光学多層膜フィルタについて以下に説明する。図6は従来の光学多層膜の構造を示す説明図である。膜に吸収がない場合、屈折率(n_0)の基板上的 $p+1$ 層の多層膜から入射した光の反射率(R)と振幅反射率 $r_{p+1,0}$ は、以下の関係を有する。

【0003】

【数1】

$$R_{p+1,0} = |r_{p+1,0}|^2$$

$r_{p+1,0}$ が振幅反射率で、

【0004】

【数2】

$$r_{p+1,0} = \frac{\rho_{p+1,p} + r_{p,0} \exp(-i\delta_p)}{1 + \rho_{p+1,p} r_{p,0} \exp(-i\delta_p)}$$

を満たす。式中の δ_p と $r_{p+1,p}$ はそれぞれ位相、 $p+1$ 層と p 層間の振幅反射率であり、以下の関係がある。

【0005】

【数3】

$$\delta_p = \frac{4\pi}{\lambda} n_p d_p \cos \phi_p$$

λ は入射光の波長で、 n_p 、 d_p はそれぞれ p 層薄膜の屈折率および膜厚である。 ϕ_p は光の p 層内における屈折角である。フレネル(Fresnel)の法則により

【0006】

【数4】

$$\rho_{p+1,p} = \frac{u_p - u_{p+1}}{u_p + u_{p+1}}$$

ただし、 s 偏光の場合、 p 偏光の場合にはそれぞれ

【0007】

【数5】

$$u_i = n_i \cos \phi_i \quad (i = 0, 1, 2, \dots)$$

【数6】

$$u_i = \frac{n_i}{\cos \phi_i} \quad (i = 0, 1, 2, \dots)$$

である。任意の光学特性に対する光学多層膜の積層構造の最適化には、従来から図式解法や解析合成法が用いられて来た。しかし、最近ではパーソナルコンピュータを用いた自動計算が一般化している。

【0008】次に、図7(a)、(b)、図3をもとに、このような従来の光学多層膜フィルタについて更に説明する。図7(a)は高低屈折率の誘電体薄膜を交互に積層した光学多層膜フィルタにおける積層数と屈折率の関係を示す図であり、図7(b)は図7(a)に示す光学多層膜フィルタにおける透過特性の計算結果を示す図であり、図3は膜の材質および屈折率を示す図である。このような従来の光学多層膜フィルタとして図7

(a)に示すものにおいては、高屈折率の誘電体薄膜Hと、低屈折率の誘電体薄膜Lを交互に積層して形成している。ここで、H、Lはそれぞれ図3に示した光学特性を有するTiO₂、SiO₂膜である。透過スペクトルの計算において、光の入射角を0(垂直入射)とし、中心波長を730 nmとした。このような従来の光学多層膜フィルタにおいては、中心波長(730nm)の反射バンドでほぼ100%の反射率を有するが、透過帯域で多くの干渉ピークが存在するという問題があり、高精度な光学フィルタを得ることは困難であった。

【0009】一方、前述した従来の光学多層膜フィルタにおける光学特性を改善するものとして、誘電体薄膜の膜厚方向に対する屈折率を正弦などの関数に従って連続かつ周期的に変化させた構造としたルゲート型フィルタが知られている。この第2の従来例としてのルゲート型フィルタについて、図8(a)、(b)をもとに説明する。図8(a)はルゲート型フィルタの積層数と屈折率の関係を示す図であり、図8(b)は図8(a)に示すルゲート型フィルタにおける透過スペクトルの計算結果を示す図である。前述した高低屈折率薄膜を交互積層した光学多層膜フィルタの構成と比較するために、図8

(a)には、正弦関数の一周期に対応する膜厚を交互多層膜の2層と見なして、屈折率と膜の積層数の関係を示した。ルゲート型フィルタの屈折率(n)の膜厚(x)依存性は以下の式で表わせる。

【0010】

【数7】

$$n(X) = n_0 + n_1 \sin(2\pi X / P)$$

【0011】ここで、n₀、n₁はそれぞれ平均屈折率と屈折率変化の振幅であり、Pは一つの正弦周期の膜厚であ

る。図8(a)に示したように、ルゲート型フィルタは膜厚方向に対して屈折率が正弦関数に従って連続かつ周期的に変化する構造を有している。そして、図8(b)から明らかなように、ルゲート型フィルタは高屈折率層を交互積層した光学多層膜フィルタより、透過領域での干渉を抑制し、低波長範囲の調和反射ピークも減少するが、反射バンド近傍の反射ピークは削除できない。そこで、ルゲート型フィルタにおいては、反射バンド近傍における干渉ピークを解決するため、フィルタ設計にあたってその光学特性を調整する他の関数が必要となる。たとえば、ルゲート型フィルタの構造に5次方関数及びFourier関数などを加えることによって、広帯域反射型フィルタの光学特性を改善することが可能となる。しかしながら、フィルタ構成が極めて複雑になるため、作製はより困難なものとなる。

【0012】

【発明が解決しようとする課題】このように、高屈折率の膜と低屈折率の膜を交互積層した従来の光学多層膜フィルタにおいては、狭いバンド幅や、温度変化に対する安定性などの要求性能を満たすことが困難であるという問題があった。また、ルゲート型フィルタにおいては、フィルタ構成が複雑であり、また、設計値に従って屈折率を連続的にかつ高精度に成膜するための制御が困難であり、生産性が低く、安定した品質で安価に提供することが困難であるという問題があった。本発明の課題は上記の従来例の問題を解決し、干渉が少なく光学特性の良い光学多層膜フィルタを提供することにある。また、生産性の高い光学多層膜フィルタを提供することにある。

【0013】

【課題を解決するための手段】前記課題を解決するための手段として、本発明の光学多層膜フィルタは、単一方向に誘電体薄膜を多層に積層した光学多層膜フィルタであって、誘電体薄膜層の屈折率が積層方向に対して順次傾斜変化する屈折率傾斜積層部と、高屈折率の誘電体薄膜層と低屈折率の誘電体薄膜層とを交互に積層した交互積層部とを備えた構成とした。

【0014】また、前記課題を解決するための手段として、本発明の光学多層膜フィルタは、前記傾斜積層部を前記交互積層部の積層方向に挟み込むように複数形成した構成とした。

【0015】また、前記課題を解決するための手段として、本発明の光学多層膜フィルタは、単一方向に誘電体薄膜を多層に積層した光学多層膜フィルタであって、誘

電体薄膜層の屈折率が積層方向に対して順次傾斜変化する屈折率傾斜積層部と、高屈折率の誘電体薄膜層と低屈折率の誘電体薄膜層とを交互に積層した交互積層部と、これらの積層部間に設けた屈折率差調整部とを備えた構成とした。

【0016】また、前記課題を解決するための手段として、本発明の光学多層膜フィルタは、前記屈折率差調整部を異なる複数の単一屈折率膜によって形成する構成とした。

【0017】また、前記課題を解決するための手段として、本発明の光学多層膜フィルタは、単一方向に誘電体薄膜を多層に積層した光学多層膜フィルタであって、屈折率が階段状に順次増加するように多層に誘電体薄膜を積層した第1の屈折率傾斜積層部と、高屈折率の誘電体薄膜層と低屈折率の誘電体薄膜層とを交互に積層した交互積層部と、屈折率が階段状に順次減少するように多層に誘電体薄膜を積層した第2の屈折率傾斜積層部とを前記の順に形成する構成とした。

【0018】また、前記課題を解決するための手段として、本発明の光学多層膜フィルタは、前記屈折率傾斜積層部と交互積層部との間に、 SiO_2 と TiO_2 の組成比を異ならせることにより所望の屈折率に形成した単一屈折率膜を用いてなる屈折率差調整部を設けたことを特徴とする請求項6に記載の光学多層膜フィルタ。

【0019】また、前記課題を解決するための手段として、本発明の光学多層膜フィルタは、前記屈折率傾斜積層部を SiO_2 と TiO_2 との組成比を異ならせることにより所望の屈折率に形成した単一屈折率膜を用いて形成する構成とした。

【0020】

【発明の実施の形態】制御光波長に対して十分に薄い膜を積層した場合、制御光はこれを積層膜とは認識せず積層構造に依る等価的な単一屈折率膜として感応する。この性質を利用して2種類の異なる屈折率膜の積層構造を変化させることで、膜厚方向に対して連続的に変化した特性を有する光分波フィルタを得ることが可能である。また、単一膜において2種類の異なる素材の組成比率を制御することで、任意の屈折率を有する膜を得るにはヘリコンスパッタ法等、膜の制御性の高い成膜法を用いることにより、所望の屈折率を有する単一光学膜の安定成膜が可能になる。本発明に係わる光学多層膜フィルタは、上述の点に着目し、誘電体薄膜の屈折率を積層方向に対して傾斜変化させる屈折率傾斜積層部と、高低屈折率交互積層部とを備えた構成としたものである。また、本発明に係わる光学多層膜フィルタは、上記構成に加え、これらの積層部との屈折率差調整部を併せ持つ光学多層膜の構成としたものである。また、本発明に係わる光学多層膜フィルタは、上記の屈折率差調整部を異なる複数の単一屈折率膜によって形成したものである。更に、本発明に係わる光学多層膜フィルタは、上記の屈折

率傾斜積層部または屈折率差調整部を SiO_2 と TiO_2 の組成比を異ならせることにより所望の屈折率に形成した単一屈折率膜を用いて形成したものである。このように構成した光学多層膜フィルタによれば、成膜における再現性と制御性を確保しつつ、光学特性設計のより高い自由度を確保することが出来る。そして、干渉が少なく光学特性の良い、また、生産性の高い光学多層膜フィルタを提供することが可能となる。

【0021】

【実施例】本発明の実施例について図面を参照して以下に説明する。図1(a)は本発明の一実施例に係わる光学多層膜フィルタの屈折率と膜厚の関係を示す図であり、図1(b)はその断面構造の概念を示す説明図である。本発明の光学多層膜フィルタは、単一方向に誘電体薄膜を多層に積層した光学多層膜フィルタであって、誘電体薄膜層の屈折率が膜の積層方向に対して順次傾斜変化する屈折率傾斜積層部Cと、高屈折率の誘電体薄膜層と低屈折率の誘電体薄膜層とを交互に積層した交互積層部Aとを有するように構成してある。また、上記A部分とC部分との屈折率差の調整部Bを有しており、基板からの積層方向に対して屈折率傾斜積層部C、屈折率差調整部B、交互積層部A、屈折率差調整部B、屈折率傾斜積層部Cの順に成膜した構成となっている。

【0022】次に、本発明の一実施例としての広帯域反射フィルタを図2(a)、図2(b)、図3、図4を参照して説明する。図2(a)は本発明の実施例に係わる広帯域反射フィルタとしての積層数と屈折率の関係を示す図であり、図2(b)の実線は図2(a)に示す広帯域反射フィルタにおける透過スペクトルの計算結果を示している。図3は膜の材質および屈折率を示す図である。図4は本発明の実施例に係わる広帯域反射フィルタの透過スペクトル計算曲線と実験値を示す図である。本発明の一実施例としての広帯域反射フィルタは、 SiO_2 、 TiO_2 を素材として設計した31層の広帯域反射フィルタからなる。更に具体的には、各誘電体薄膜層を以下のように積層構成した。

L A B C D E C F B G A H (L H) ' L G A F B E D C B A L

ここで、L、H、A、B、C、D、E、F、Gは図3に示した光学膜厚($nd=\lambda/4$)を有する SiO_2 、 TiO_2 複合膜である。そして、L A B C D EとE D C B A Lは対称的に屈折率が傾斜した SiO_2 、 TiO_2 複合膜の積層である。

(図1の説明図における屈折率傾斜積層部Cに相当する。)

また、C F B G AとL G A F Bの部分は SiO_2 、 TiO_2 複合膜からなる高低屈折率交互積層である。(図1の説明図における屈折率差調整部Bに相当する。)このように、上記屈折率差調整部を異なる複数の(好ましくは4種類以上)単一屈折率膜によって形成している。更に、上記の屈折率傾斜積層部と屈折率差調整部は、 Si

O_2 と TiO_2 の組成比を図3に示すように各々異ならせて所望の屈折率に形成した単一屈折率膜を用いて構成している。また、中心部分の H(LH)^x は従来の TiO_2 、 SiO_2 単層膜からなる高屈折率の誘電体薄膜層と低屈折率の誘電体薄膜層の交互積層である。(図1の説明図における交互積層部Aに相当する。)また、設計膜厚は3119 nmである。このようにして設計した本発明の一実施例に係わる広帯域反射フィルタについて、ヘリコンスパッタ法を用いて作製し、実験した。ヘリコンスパッタ法は、マグネトロンカソード上に誘導放電用コイルを設け、ヘリコン波を発生させることにより励起されたプラズマを用いてスパッタリングを行う方法である。このため、低プラズマダメージ、高密度の多成分膜の精密成膜が可能となる。ヘリコンスパッタ装置には二台のヘリコンカソードが用いられている。ヘリコンカソードにはそれぞれ熔融シリカ(99.99%)と焼結酸化チタン(99.5%)のターゲットが取り付けられている。ターゲットおよび誘導コイルにはrf(13.56 MHz)電力を印加し、電力は0~200Wとした。成膜時のチャンバーの基礎圧力は 5×10^{-5} Pa以下とした。カソードとラジカルガンに導入したアルゴンと酸素ガスの比は $\text{Ar}/\text{O}_2=2/1$ とし、成膜圧力は 1.8×10^{-1} Paとした。基板とターゲット間距離は180mmとし、基板は10rpmで回転させた。基板には光学ガラス(BK7, $n=1.52$)およびSi(100)単結晶基板を用いた。膜厚および屈折率はエリプソメーター(Gaertner L116-B, 633nm)を用いて測定した。膜の組織観察はTEM(JEOL-200FX)で行った。多層膜の透過率は分光光度計(Shimadzu UV-3101-200FX)を用いて200~2500nmの波長範囲で測定した。これらによって作成した本発明の実施例に係わる光学多層膜について、その断面構造を観察すると図1に示すものと一致した。また図示しないが、TEM写真には、各層屈折率の増大つまり各層中の TiO_2 含有量の増加に従って明視野像における明度が減少する傾向が見られる。なお、 SiO_2 、 TiO_2 および SiO_2 - TiO_2 複合膜のXRD、SEMおよびTEM解析により、 SiO_2 、 TiO_2 複合膜の微細構造は均質かつ等方的なアモルファス膜及びナノ結晶 TiO_2 を含むアモルファス膜であり、偏向依存性等がなく、光学的に均質な光学多層膜フィルタとして理想的膜構造としている。また、光学特性の評価結果、得られた多層膜の透過スペクトルは中心波長730nmで99.8%の反射率を有し、計算曲線とほぼ一致した。また、FWHM(full width at half maximum)においてもほぼ設計値と一致した。また、図2(b)には、上述の本発明の実施例に係わる広帯域反射フィルタの計算透過スペクトルを実線で示しており、比較のために従来例に示した31層 TiO_2 、 SiO_2 交互積層による多層膜フィルタの計算透過スペクトルを破線で示している。図2(b)より、本発明の実施例に係わる広帯域反射フィルタは、従来例の光学多層膜フィルタに比し、透過帯域での干渉が少なく、広帯域反射フィルタとしてより優れた光学特性が得

られることがわかる。また、他の従来例として図2

(b)に示したルゲート型フィルタの透過スペクトルと比較すると、ルゲート型フィルタよりもさらに透過帯域での干渉が抑制されるということがわかる。このように本発明の実施例に係わる広帯域反射フィルタにおいては、干渉を抑制し高い光学特性を得ることが可能となる。また、ルゲート型フィルタに比べ、簡単な膜構成とすることができるので、成膜における再現性と制御性を確保することができ、生産性の高い光学多層膜フィルタを提供することが可能となる。

【0023】次に、本発明の他の実施例としての狭帯域透過フィルタを図5を参照して説明する。図5は本発明の実施例に係わる狭帯域透過フィルタの透過スペクトルの計算結果を示す図である。本発明の他の実施例としての狭帯域透過フィルタにおいても、誘電体薄膜層の屈折率が膜の積層方向に対して順次傾斜変化する屈折率傾斜積層部と、高屈折率の誘電体薄膜層と低屈折率の誘電体薄膜層とを交互に積層した交互積層部とを有するように構成している。更に具体的には、各誘電体薄膜層を以下のように積層構成している。

$\text{L A B C D E C F B G A} \times \text{H(LH)}^x \text{L y H(LH)}^y \times \text{H L G A F B E D C B A L}$

ここで、図5中の曲線T124、T663、T282はそれぞれ $x=1$, $y=2$, $n=4$, $x=6$, $y=6$, $n=3$, $x=2$, $y=8$, $n=2$ のパラメータに対応し、各膜は図3に示す材料および屈折率からなる。そして、図5から明らかなように、本発明の実施例に係わる狭帯域透過フィルタにおいては、中心波長730nmにおいてほぼ100%の透過率が、また反射領域においてほぼ100%の反射率が得られることがわかる。さらに、上述の多層膜のパラメータを調整することによって、透過バンド幅の波長範囲を1nmから50nmまで制御することが可能になり、狭帯域透過フィルタとしての高い光学特性を得ることが可能となる。

【0024】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、誘電体薄膜層の屈折率が積層方向に対して順次傾斜変化する屈折率傾斜積層部と、高屈折率の誘電体薄膜層と低屈折率の誘電体薄膜層とを交互に積層した交互積層部とを備えるように積層したので、干渉が少なく光学特性の良い光学多層膜フィルタを提供することが可能になる。また、生産性の高い光学多層膜フィルタを提供することが可能となる。

【0025】

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施例に係わる光学多層膜フィルタの屈折率と膜厚の関係、およびその断面構造の説明図である。

【図2】本発明の実施例に係わる広帯域反射フィルタとしての積層数と屈折率の関係、および透過スペクトルの計算結果を示す説明図である。

【図 3】膜の材質および屈折率を示す図である。

【図 4】本発明の実施例に係わる広帯域反射フィルタの透過スペクトル計算曲線、および実験値を示す説明図である。

【図 5】本発明の実施例に係わる狭帯域透過フィルタの透過スペクトルの計算結果を示す説明図である。

【図 6】従来の光学多層膜の構造を示す説明図である。

【図 7】従来例に係わる交互積層多層膜フィルタにおける積層数と屈折率の関係、および透過特性の計算結果を

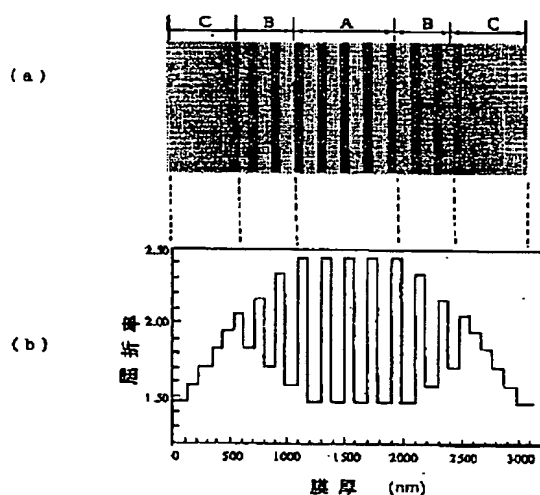
示す説明図である。

【図 8】従来例に係わるルゲート型フィルタの積層数と屈折率の関係、および透過スペクトルの計算結果を示す説明図である。

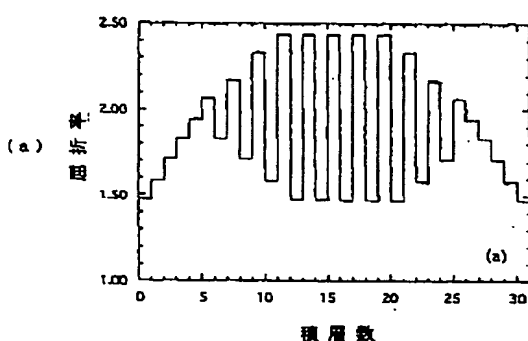
【符号の説明】

- A 交互積層部
- B 屈折率差調整部
- C 屈折率傾斜積層部

【図 1】



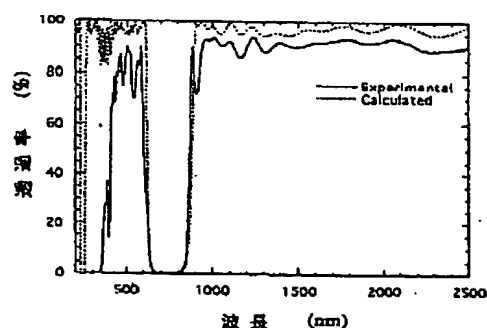
【図 2】



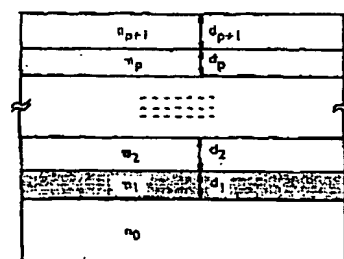
【図 3】

No	構成 (mol:mol)	屈折率
H	TiO ₂	2.433
G	0.87TiO ₂ -0.13SiO ₂	2.333
F	0.76TiO ₂ -0.24SiO ₂	2.170
E	0.65TiO ₂ -0.35SiO ₂	2.068
D	0.54TiO ₂ -0.46SiO ₂	1.942
C	0.45TiO ₂ -0.55SiO ₂	1.830
B	0.33TiO ₂ -0.67SiO ₂	1.714
A	0.17TiO ₂ -0.83SiO ₂	1.582
L	SiO ₂	1.471

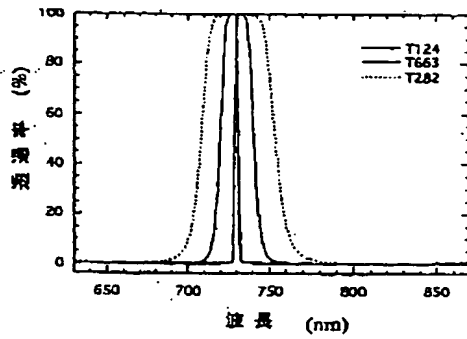
【図 4】



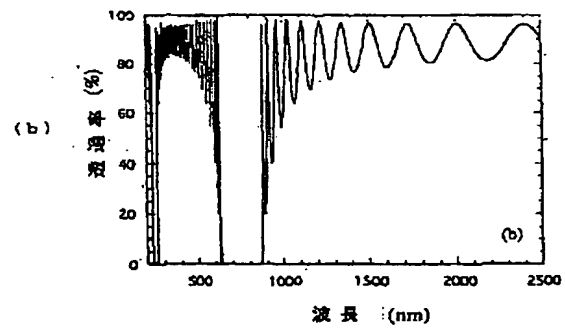
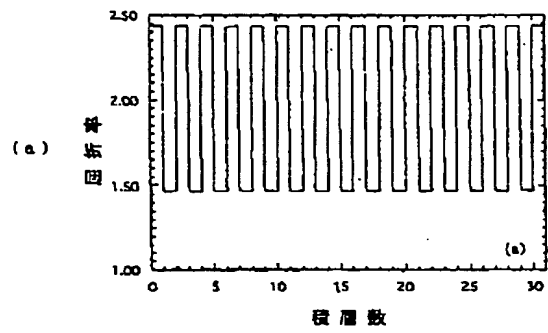
【図 6】



【図 5】



【図 7】



【図 8】

